

TESZTBERENDEZÉS TÁVVEZETÉKRŐL LESZAKADÓ JÉG KELTETTE LENGÉSEK MODELLEZÉSÉRE

Lajber Kristóf^{a*}, Borbély Tibor^b, Kollár László^c, Szilvágyi Milán^d

^a ELTE Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, PhD hallgató

^b ELTE Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi docens

^c ELTE Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi tanár

^d ELTE Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, Gépészmérnöki BSc, 4. évf.

ABSZTRAKT

A cikk bemutatja egy elektromos távvezetékéről történő jégleválás modellezésére készült rendszer felépítését és működésének tesztelését. A valóságoshoz képest kicsinyített méretű vezetékmodell vezetékeinek befogásánál erőmérő cellák vannak beépítve a vezetéklengések közben fellépő erők mérésére. A vizsgálatok során a vezetékről leszakadó jeget súlyok modellezik, melyek elektromágnessel lettek rögzítve a vezetékre. Az elektromágnesek vezérlésére egy egyedi, mikrovezérlő alapú vezérlőrendszer készült el. Ismertetjük a megvalósított vezérlőrendszer felépítését és a mérőrendszerrel való együttműködés képességének vizsgálatát.

Kulcsszavak: *vezérlő, távvezeték, lengések, jegesedés*

1. Bevezetés

A villamos távvezetéseket különböző természeti jelenségek következményeként olyan hatások érik, amelyek lengéseket okoznak. A lengések közben ható nagy erők rövid idő alatt károkat okozhatnak a távvezeték összetevőiben, de kisebb lengéseknek is lehetnek káros következményei, ha azok gyakran ismétlődnek, mert kifáradáshoz vezetnek. A nagyfeszültségű vezetékek ilyen lengéseit a lengés amplitúdója és frekvenciája alapján három fő csoportba soroljuk [1, 2]:

- A nagy amplitúdójú (összemérhető a belógással), kis frekvenciájú (0,1-1 Hz) úgynevezett „galoppozó” lengéseket a szél okozza. Ehhez hasonló, de időben csillapodó lengések alakulhatnak ki a vezetéken kialakult jég, vagy hó leválásakor. Ezek a lengések jelentős terhelésnövekedést jelentenek a befogásoknál.
- A közepes amplitúdójú és frekvenciájú (1-5 Hz) lengések kötegelt vezetékeknél alakulhatnak ki, ahol az egyik vezetékről leváló örvények gerjesztik a szomszédos vezetéket. Ezek a lengések kifáradáshoz vezethetnek.
- A szél okozhat kis amplitúdójú (vezeték átmérőhöz hasonló), nagy frekvenciájú (3-150 Hz) lengéseket. Ezek elsődlegesen kifáradásos sérülésekhez vezetnek.

A lengések okozta károk indokolják a kutatást a lengéseket okozó jelenségek megértése, valamint a keletkező lengések csillapítása céljából. A vezetékről lehulló jég folyamatának és a létrejövő lengéseknek a modellezésére már több mint 50 évvel ezelőtt végeztek kísérleteket, ahol a jeget vezetékre rögzített súlyokkal vették figyelembe [3]. Később a jég okozta terhet több helyen rögzített tesztvezetékkel, a jég lehullását pedig a rögzítések eltörésével is modellezték [4]. Jég lehullását a vezetékről laboratóriumi körülmények között többen is vizsgálták távvezeték kicsinyített modelljén [5, 6], beleértve azt az esetet, amikor az összes jég egyszerre hull le a vezetékről [7], illetve amikor a jég lehullásának folyamata végighalad a vezeték mentén [8].

A jelen munka távlati célja az, hogy vizsgálni lehessen a távvezetésekről leszakadó jég hatására létrejövő lengéseket és azoknak az esetleges csillapítási lehetőségeit. A mostani fejlesztésnek a fő célja egy tesztberendezés létrehozása, különös tekintettel a vezérlőrendszerre.

2. A kísérleti modell és a vezérlőrendszer

A vizsgálathoz a távvezeték két fesztávból álló kicsinyített modellje készült el a Savaria Műszaki Intézetben. A jégterhelés modellezésére szakaszonként 8 darab elektromágnessel rögzített súly szolgál. Ezeknek a súlyoknak az időzített elengedésével a vezetékről leszakadó jég jelenségét lehet modellezni. A jegesedett vezetéket érő erők nagysága határozza meg azt, hogy további jégdarabok leszakadnak-e. Ezt a súlyokat tartó erő változtatásával lehet modellezni ebben a rendszerben. A vezetékekben ébredő erők mérésére a vezetékek egyik végén háromtengelyes mérőcellákat építettünk be a rögzítési pontoknál.

2.1. Egyedi vezérlőrendszerrel szemben támasztott követelmények

A súlyok elengedésének időzítését ms pontossággal kell megvalósítani, hogy a leszakadás folyamata lehető legjobban közelíthető legyen. A jelenség modellezése szempontjából fontos, hogy az elengedés sorrendje, ideje és a szorító erő programozható legyen. Illetve az is követelmény, hogy ezek a paraméterek a vezérlőn futó program módosítása nélkül is beállíthatók legyenek. A rendszerrel szemben támasztott követelmények alapján egy mikrovezérlő alapú megoldást találtunk megfelelőnek az elektromágnesek vezérlésére.

2.2. A kísérleti modell és terhelések

A távvezeték modellezésére a laboratórium mennyezetére rögzítettük három tartókonzollal, egymástól 8,4 m távolságra, az [1. ábrán](#) látható módon kerültek rögzítésre. A konzolok közé lett kifeszítve a [2. ábrán](#) látható módon a drótkötél, ami a vezetéket modellezi.



1. ábra: A vezetékek rögzítése



2. ábra: A vezetékmódel

A súlyok csipesz-szerű mechanikával, elektromágnesek segítségével rögzíthetők a vezetékekhez. Az elkészült megoldás a 3. ábrán látható. A feladathoz ITS-MS-2520-12VDC típusú elektromágneseket választottunk ki. A mágnesek tekercsei 12 V, névleges egyenfeszültségűek, és 4 W elektromos teljesítményűek, a névleges húzóerejük 60 N.

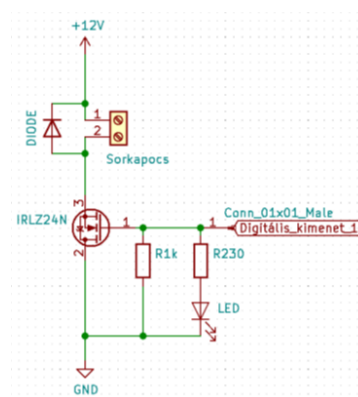
2.3. A vezérlőegység és program

A követelmények szerint 16 db PWM (Pulse Width Modulation – impulzusszélesség-moduláció [9]) kimenetre van szükség a megfogási erő vezérlésére, USB (Universal Serial Bus – szabványos soros adatátviteli módszer [9]) csatlakozásra és időzítő funkciókra. A Texas Instruments TM4C123GH6P fejlesztői panelja megfelelő megoldás volt a rendelkezésre álló, 16 csatornás dedikált PWM modullal, aminek minden csatornáját kivezették a fejlesztői panelen is. A vezérlő rendelkezik továbbá 27 db egyenként 32 bit-es időzítő modullal [10], amelyekkel további szoftveres PWM-csatornák hozhatóak létre. A fejlesztői panelen az USB kapcsolat gyárilag megvalósított, mivel a programozás és kommunikáció is ezen keresztül történik. A vezérlő 80 MHz-es órajele és egyszeres pontosságú lebegőpontos számító egysége megfelelő a feladathoz.

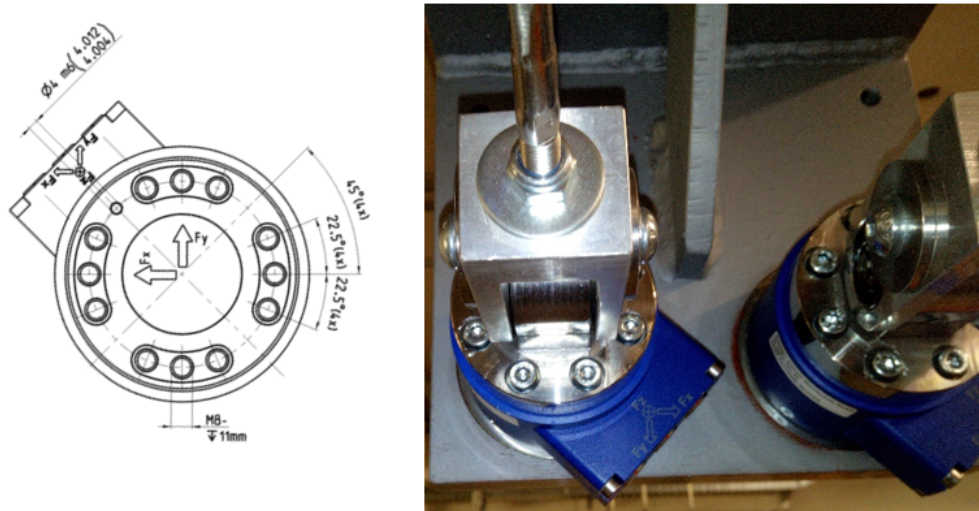
A vezérlőprogramot Visual Studio Code - PlatformIO IDE (Integrated Development Environment – integrált fejlesztőkörnyezet [9]) bővítményével készítettük, Energia keretrendszerben, C++ nyelven [11]. A vezérlőegységen futó program a hardver inicializálása után soros porton keresztül várja az utasításokat. Ezek az utasítások 8 bit-es karakterek formájában érkehetnek.



3. ábra: A súlyokat tartó csipesz a vezetéken



4. ábra: A tervezett MOSFET kimenetek egy csatornájának sematikus rajza



5. ábra: Az erőmérő cella műszaki rajza, az erőmérési irányokkal és a cellák beépítése [14]

2.4. Félvezetőalapú szintillesztés

A feladat kivitelezéséhez félvezető alapú teljesítményillesztést alkalmaztunk, így később a tartóerő állítása is megvalósítható. A MOSFET-es (FET, Field-Effect Transistor – térvezérlésű tranzisztor; MOSFET, Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor – szigetelt vezérlőelektródás FET [9]) jelszint illesztésnél olyan eszközt kellett választani, amely alkalmas az elektromágnesek 330 mA-es áramának kapcsolására. Mivel az elektromágnesek erősen induktív terhelések, így a kapcsolásukkor keletkező tranziens feszültségcsúcsoktól a rendszert meg kellett védeni.

A MOSFET-ek közül az IRLZ-24N típusút választottuk. Ennek a FET-nek a 18 A-es maximális névleges terhelhetősége és logikai jelszinttel való kapcsolhatósága előnyös volt a konstrukció szempontjából, mivel a FET-ek névleges terhelése és szükséges kapcsolási ideje nem teszi szükségessé a FET meghajtó modulok alkalmazását [12]. Az eszközök működési tartományának megfelelően megvalósított kapcsolást az 4. ábra mutatja be. A tranziens hatások ellen a gyakorlatban sokszor alkalmazott 1N4007 típusú diódákat építettünk be az elektromágnesekkel párhuzamosan záró irányba, ezt a 4. ábrán a DIODE felirat jelezi.

2.5. Adatgyűjtő- és mérőberendezések

Az adatgyűjtővel szemben támasztott követelmény az volt, hogy az erőmérő cellák jelét megfelelően tudja olvasni és rendelkezzen legalább 6 csatornával, amelyeken szimultán képes méréseket végezni. Ezért egy HBM QuantumX MX840B típusú adatgyűjtőt használtunk. Az adatgyűjtő 8 csatornája lehetővé teszi a két megvalósított vezetéken ébredő erők 3–3 tengely menti, szimultán rögzítését. A fennmaradó csatornák egyike használható úgynevezett trigger jel (olyan jel, amellyel az adatgyűjtés automatikusan elindítható) fogadására. Az eszköz előnye, hogy képes kezelni a jeladóba szerelt TEDS (Transducer Electronic Data Sheet – Jeladó elektromos adatlap) chipet, így a konfigurációs idő drasztikusan csökken [13]. Az adatgyűjtővel mért adatokat HBM CatmanEasy AP program segítségével rögzítettük.

A vezetékekben ébredő erők méréséhez HBM MCS10-005-3C-FX-FY-FZ-00-00-00 típusú erőmérőcellákat alkalmaztunk. Az 5. ábrán jól látható az erőmérő cella és mérési irányai. A beépített formában az y -tengely függőleges, a z -irány a húzás- és az x -irány az oldalirányú erők mérésére szolgál. Az erőmérő műszer x és y -irányban 1 kN, z -irányban 5 kN méréshatárú.

1. táblázat: Vezérlőutasítások

Karakter	Funkció	Paraméter
p	kimenet száma	0-15 közötti
a	kimenet aktiválása	0-ki, 1-be
t	kiválasztott mágnes kikapcsolásának késleltetése	késleltetés ms-ban
r	mérés	1-mérés indul, 0-késleltetés törlése

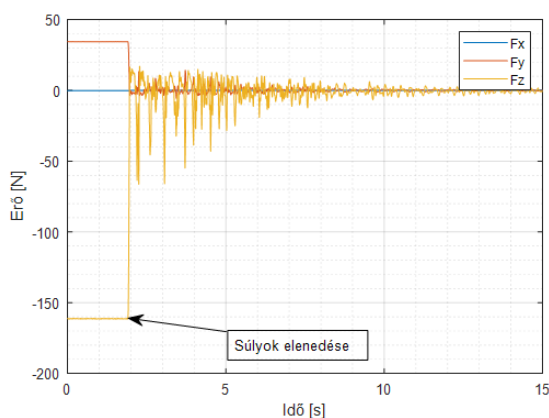
2.6. A vezérlőprogram kezelése

A vezérlővel történő, soros port alapú kommunikációhoz a PC (Personal Computer – személyi számítógép) oldalon valamilyen segédprogramra van szükség. A javasolt program a PuTTY nevű alkalmazás. Ezzel az alkalmazással könnyen lehet küldeni a szükséges vezérlőkaraktereket. Az elküldött karakterek nyomon követésére a programban érdemes bekapcsolni a local echo (helyi visszhang) funkciót, így a konzolon az elküldött üzenetek is megjelennek. Az üzenetek két részből állnak: egy karakter, amely a kívánt beállítandó funkciót választja ki, amit egy érték követ, amely az előbb kiválasztott funkcióhoz tartozó érték. A rendszer az 1. táblázatban felsorolt utasításokat ismeri fel a jelzett paraméterekkel.

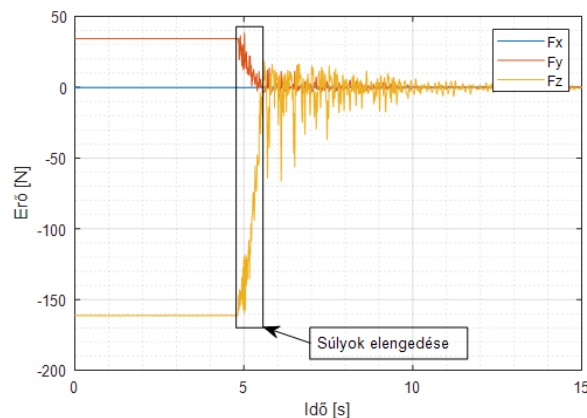
A beállított késleltetési idők nulla időpontja a mérés kezdete, így az azonos késleltetési idő megadásával az adott mágnesek egyszerre fognak elengedni. A vezérlő minden esetben idő szerint sorba fogja rakni a kimenetek kikapcsolását, így a késleltetési idők megadásának sorrendje nem számít.

3. Eredmények

A projekt során megvalósított rendszer használhatóságát a tesztmérések eredményein keresztül mutatjuk be. A méréseket egy vezetékszakaszon, 8 darab súllyal, két különböző időzítési sémát használva végeztük el. Minden mérésnél 8 darab, 800 g tömegű terhet használtunk. A mérés előtt a csatlakoztatott vezetékekkel az erőmérő cellák által mért értéket nulláztuk, így csak a terhelések által okozott erőket mértük. A terheket az első esetben (6. ábra) egyszerre, míg a második esetben (7. ábra) 100 ms késleltetéssel engedték el. A méréseket 300 Hz-es mintavételi frekvenciával rögzítettük, és Matlab segítségével dolgoztuk fel. Az erők meghatározása a terhek leejtését megelőző statikus egyensúlyi helyzetben az első 300 rögzített adat átlaga alapján történt. Az így kapott eredmények a 2. táblázatban láthatóak.



6. ábra: Első mérés - terhek lehullajtása egy időben



7. ábra: Második mérés - terhek lehullajtása 100 ms időközönként

2. táblázat: Kiindulási erők az egyes méréseknél

	1. mérés	2. mérés
F_x [N]	-0.2542	-0.2548
F_y [N]	34,4460	34,4387
F_z [N]	-161,3028	-161,2719

A 6. és 7. ábrákat összehasonlítva jól látható, hogy ha az összes teher egyszerre hull le, akkor az erő z -irányú komponense nagyon gyorsan lecsökken (69 ms) és szinte rögtön kialakul a statikus érték körüli rezgés. Ha viszont a terhek lehullása 100 ms-onként történik, akkor az összes teher lehullása 0,7 s-ig tart (ábrán kerettel jelölve), így a statikus érték körüli lengés is csak ezután alakul ki. Ebben az esetben 10 s alatt -19,39 dB-el csökkent a lengések intenzitása. A fent rögzített eredmények összhangban vannak a mérések során tapasztaltakkal.

4. Irodalomjegyzék

- [1] EPRI, *Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA, 1979.
- [2] M. Farzaneh, *Atmospheric Icing of Power Networks*, Springer Science+Business Media B.V., 2008, ISBN: 978-1-4020-8530-7, [CrossRef](#)
- [3] V.T. Morgan, D.A. Swift, *Jump height of overhead-line conductors after the sudden release of ice loads*, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 111(10), 1964, pp. 1736–1746, [CrossRef](#)
- [4] P. Van Dyke, A. Laneville, *Simulated ice shedding on a full-scale test line*, Proc. 8th Int. Symp. Cable Dynam., Paris, France, 2009.
- [5] A. Jamaledine, G. McClure, J. Rousselet, R. Beauchemin, *Simulation of ice shedding on electrical transmission lines using ADINA*, Computers & Structures 47(4-5), 1993, pp. 523-536, [CrossRef](#)
- [6] G. Huang, B. Yan, N. Wen, C. Wu, Q. Li, *Study on jump height of transmission lines after ice-shedding by reduced scale modeling test*, Cold Regions Science and Technology 165, 2019, 102781, [CrossRef](#)
- [7] L.E. Kollár, M. Farzaneh, *Modeling sudden ice shedding from conductor bundles*, IEEE Transactions on Power Delivery 28(2), 2013, pp. 604–611, [CrossRef](#)
- [8] L.E. Kollár, M. Farzaneh, P. Van Dyke, *Modeling Ice Shedding Propagation on Transmission Lines with or without Interphase Spacers*, IEEE Transactions on Power Delivery 28(1), 2013, pp. 261-267, [CrossRef](#)
- [9] *Magyar elektronika*, letöltés dátuma: 2021.04.20, [url](#)
- [10] *Tiva™ TM4C123GH6PM Microcontroller DATA SHEET*, 2007-2014 Texas Instruments Incorporated
- [11] Benedek Z., Levendovszky T., *Szoftverfejlesztés C++ nyelven*, SZAK Kiadó, 2007, ISBN 978-963-9131-94-1
- [12] A. Kay, T. Green, *Analog Engineer's Pocket Reference*, Texas Instruments Incorporated, 2019.

-
- [13] *QuantumX MX840 Universal Amplifier Data Sheet*, Hottinger Brüel & Kjaer GmbH, letöltés dátuma: 2021.04.20, [url](#)
- [14] *MCS10 sensor datasheet*, letöltés dátuma: 2021.04.20, [url](#)